



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

출원번호 : 10-2003-0032389
Application Number

출원년월일 : 2003년 05월 21일
Date of Application MAY 21, 2003

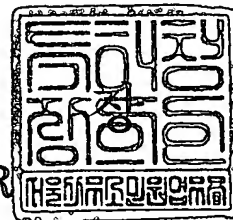
출원인 : 한국원자력연구소 외 1명
Applicant(s) KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE, et al.



2003 년 08 월 25 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【제출일자】	2003.05.21
【발명의 명칭】	풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거방법 및 잔열제거시스템
【발명의 영문명칭】	PASSIVE SAFETY-GRADE DECAY-HEAT REMOVAL METHOD AND DECAY-HEAT REMOVAL SYSTEM FOR LMR WITH POOL DIRECT HEAT COOLING PROCESS
【출원인】	
【명칭】	한국원자력연구소
【출원인코드】	3-1998-007760-9
【출원인】	
【명칭】	한국수력원자력 주식회사
【출원인코드】	1-2001-015087-2
【대리인】	
【성명】	이원희
【대리인코드】	9-1998-000385-9
【포괄위임등록번호】	2002-039963-1
【포괄위임등록번호】	2001-025055-1
【발명자】	
【성명의 국문표기】	어재혁
【성명의 영문표기】	E0H, Jae-Hyuk
【주민등록번호】	721216-1024421
【우편번호】	135-785
【주소】	서울특별시 강남구 압구정동 미성APT 29동 608호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	심윤섭
【성명의 영문표기】	SIM, Yoon-Sub
【주민등록번호】	520705-1559711

【우편번호】	305-503
【주소】	대전광역시 유성구 송강동 한마을APT 111동 1207호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김성오
【성명의 영문표기】	KIM, Seong-0
【주민등록번호】	560227-1622117
【우편번호】	305-755
【주소】	대전광역시 유성구 어은동 한빛APT 131동 1306호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	한도희
【성명의 영문표기】	HAHN, Dohee
【주민등록번호】	560917-1000418
【우편번호】	305-345
【주소】	대전광역시 유성구 신성동 136-4번지
【국적】	KR
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 이원희 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	15 면 15,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원
【심사청구료】	8 항 365,000 원
【합계】	409,000 원
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】

【요약】

본 발명은 정상 열제거 시스템의 기능상실시 풀형 액체금속로의 노심 붕괴 열 제거에 관한 것으로, 원자로용기 내부 노심 상부의 고온풀과 그 외부의 저온풀로 구분되어 정상운전시 1차계통펌프에 의해 액위차가 유지되는 액체금속로에 저온풀의 액위와 동일하게 유지되는 수직원형관을 설치하고, 원자로 건물 상부에 설치되는 소뜸-공기 열교환기와 제열용 소뜸-루프로 연결되는 소뜸-소뜸 열교환기를 정상운전시의 저온풀의 액위와 동일한 수직원형관 내부의 저온풀 액위 상부에 설치하여, 계통과도시 1차계통펌프의 작동중단 및 소뜸의 팽창으로 인해 고온풀과 저온풀 간의 액위차 소멸시에 한하여 소뜸-소뜸 열교환기가 고온의 소뜸과 직접 접촉하도록 하여 노심의 붕괴열을 최종 열침원인 대기로 방출하도록 함으로써, 완전피동개념으로 작동함에 따른 작동 신뢰성을 확보하고, 정상운전시 열손실을 최소화하여 경제성을 극대화시키며, 계통과도시에 효과적인 제열성능을 발휘할 뿐만아니라 원자로용기 직접 냉각방식에 의한 추가적인 제열용량을 확보하여 대용량 액체금속로를 설계하는데 있어 현저히 증가한 제열성능 및 설계변동폭 제공하는 풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거방법 및 잔열제거시스템을 제공한다.

【대표도】

도 1

【색인어】

잔열제거, 풀 열교환기, 액위차, 피동개념, 액체금속로

【명세서】

【발명의 명칭】

풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거방법 및 잔열제거시스템{PASSIVE SAFETY-GRADE DECAY-HEAT REMOVAL METHOD AND DECAY-HEAT REMOVAL SYSTEM FOR LMR WITH POOL DIRECT HEAT COOLING PROCESS}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 잔열제거시스템이 적용된 액체금속로를 개략적으로 도시한 수직단면 개념도,

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 잔열제거시스템이 적용된 액체금속로를 개략적으로 도시한 수평단면 개념도,

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 잔열제거시스템의 정상운전시의 기능적 구조도,

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 잔열제거시스템의 계통과도시의 기능적 구조도,

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 소뜸-소뜸 열교환기와 그 주변에서 발생하는 유동과 열교환 메커니즘을 도시한 정상운전시 세부개념도,

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 소뜸-소뜸 열교환기와 그 주변에서 발생하는 유동과 열교환 메커니즘을 도시한 계통과도시 세부개념도,

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 잔열제거시스템을 구비한 액체금속로의 열 전달 메커니즘을 부분적으로 도시한 정상상태의 개념도,

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 잔열제거시스템을 적용한 액체금속로의 열 전달 메커니즘을 부분적으로 도시한 계통과도시의 개념도,

도 9는 종래기술에 따른 원자로용기 직접 냉각방식의 잔열제거시스템을 적용한 액체금속로의 열전달 메커니즘을 부분적으로 도시한 개념도,

도 10은 종래기술에 따른 풀 직접 냉각방식의 잔열제거시스템을 적용한 액체금속로의 열전달 메커니즘을 부분적으로 도시한 개념도,

도면의 주요부분에 대한 부호의 설명

10: 수직원형관 20, 20': 소뜸-소뜸 열교환기

23: 저온소뜸 하강관 25: U형 전열부

27: 전열관 29: 가열소뜸 수집기

30, 30': 제열용 소뜸-루프 33: 저온관

37: 고온관 40, 40': 소뜸-공기 열교환기

43, 43': 공기유로 입구 47, 47': 공기유로 출구

100: 원자로용기 110: 노심

120: 지지용기 125: 격리판

130: 원자로배플 140: 중간열교환기

145: 1차계통펌프 150: 고온풀

160: 원자로헤드 170: 댐퍼

180: 격리밸브 190: 중간계통 격리밸브

200: 저온풀 210: 원자로 지지벽

220: 공기유로 분리기 230: 격납용기

X: 고온풀의 액위 X': 계통과도시 상승한 액위

X1: 종래기술에 따른 원자로용기 직접 냉각방식에서의 계통과도시 상승한 액위

X2: 종래기술에 따른 풀 직접 냉각방식에서의 고온풀의 액위

Y: 저온풀의 액위 Z: 액위차

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<30> 본 발명은 정상 열제거 시스템의 기능상실시 액체 소듐을 냉각재로 사용하는 풀형 액체금속로의 노심 붕괴열 제거에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 대용량 액체금속로 설계에 적합한 제열용량의 확보가 가능하고, 정상운전중의 열손실을 최소화하면서도 작동 신뢰성을 향상시킬 수 있는 풀 직접 냉각방식의 피동 안전 등급 액체금속로 잔열제거방법 및 잔열제거시스템에 관한 것이다.

<31> 일반적인 액체금속로(LMR: Liquid Metal Reactor)는 노심(Reactor Core), 중간열교환기(IHX), 증기발생기(SG)로 연결되는 정상 열제거 시스템의 기능이 상

실되는 경우에 긴급한 원자로 운전중단에 이은 노심의 붕괴열(decay heat) 제거를 위해 잔열제거시스템(RHRS)을 구비하고 있다.

<32> 종래기술에 따른 풀형(pool type) 액체금속로의 잔열제거시스템은 노심 출구 상부에 위치한 고온풀(hot pool)의 열적 관성을 이용하여 노심의 붕괴열을 효과적으로 제거할 수 있도록 설계된 것으로서, 노심의 열출력에 따른 잔열제거용량과 관련하여 원자로용기 직접 냉각방식(Passive Vessel Cooling System ; PVCS)과 풀 직접 냉각방식(Direct Reactor Cooling ; DRC)으로 분류된다.

<33> 원자로용기 직접 냉각방식(PVCS)은, 도 9에 도시한 바와 같이, 정상 열제거 시스템의 기능상실로 인해 고온풀(150: hot pool)의 소동이 가열되어 부피가 팽창하면 액위(X1)가 상승하여 노심(110)에서 가열된 고온 소동이 원자로배플(130: Reactor baffle) 상단에 형성되는 오버플로우 슬롯(overflow slot)을 넘어서면서 원자로용기(100: Reactor Vessel)와 직접 접촉하여 대류 및 전도 열전달에 의한 열전달 상승효과를 통해 노심의 붕괴열을 제거하는 방식으로, 노심 열출력이 상대적으로 낮은 1,000MWth 이하의 중소형 풀형 액체금속로에 국한되어 적용이 가능한 방식이다.

<34> 좀 더 상세히 설명하면, 대류와 전도에 의해 원자로용기에 흡수된 열은 복사에 의해 원자로용기 외부의 격납용기(230: Containment Vessel)에 전달되고, 격납용기(230)와 그 외부를 둘러싸는 콘크리트로 형성된 지지벽(210) 사이에 공기분리기(220)에 의해 반경방향으로 분할된 공기유로를 흐르는 공기에 격납용기(230)의 열이 흡수되며, 최종적으로 공기분리기(220) 내측의 공기유로에서 가열된 공기가 밀도차에 의해 지속적으로 대기로 배출되고 차가운 외부의 공기가 공

기분리기 외측의 공기유로를 통해 지속적으로 유입되는 형태로 발생하는 공기의 자연순환에 의해 피동적이고 지속적인 방식으로 노심의 붕괴열이 제거된다.

<35> 이와 같은 방식은 정상 열제거 시스템의 기능 상실시 운전원의 조작 또는 외부의 어떠한 조치도 필요 없이 작동하는 것으로서 작동 신뢰성이 보장되는 완전한 피동개념을 채택하고 있다는 장점을 갖고 있지만, 제열방식의 특성상 원자로용기의 직경에 의해 결정되는 열전달 표면적 및 이와 관련된 풀 내부의 기기수용요건에 의한 경제성 등을 고려할 때 상기한 바와 같이 원자로 열출력의 한계가 1,000MWth 정도로 제약을 받기 때문에 대용량 원자로 설계시에는 그 적용이 적절치 못한 문제점이 있었다.

<36> 반면에, 풀 직접 냉각방식(DRC)은, 도 10에 도시한 바와 같이, 고온풀(150)의 고온 소듐 액위(X2) 이하에 위치하도록 소듐-소듐 열교환기(20')를 설치하고 원자로 건물 상단에 소듐-공기 열교환기(40')를 설치하여 두 열교환기를 별도의 제열용 소듐-루프(30')로 연결하므로써, 열유입원 및 열제거원의 높이차에 의해 형성되는 제열용 소듐-루프(30') 내에서의 밀도차를 이용한 소듐의 자연순환으로 시스템의 열을 최종 열침원인 대기로 방출하는 방식으로, 이상에서 설명한 원자로용기 직접냉각방식(PVCS)의 시스템과 달리 노심의 열출력에 직접적인 제약을 받지 않고 설계 목표에 따라 요구되는 붕괴열 제거용량을 구현할 수 있는 장점을 갖는다.

<37> 그러나, 풀 직접 냉각방식(DRC)은 별도로 구비되는 제열용 소듐-루프(30')를 통한 고온풀(150)로부터 소듐-공기 열교환기(40')로의 전열과정에서 액체 소듐의 특성상 제열용 소듐-루프(30') 내부의 소듐이 고화되는 것을 방지하기 위한

지속적인 열공급이 정상운전중에도 이루어져야 한다. 이와 같이 공급되는 열은 정상적인 상태는 액체금속로의 열손실에 해당하므로 제열용 소듐-루프(40')로 공급되는 공기유로의 입구(43') 및 출구(47')에 각각 댐퍼(170: damper)를 설치하고 제열용 소듐-루프(30')에 격리밸브(180)를 설치하여 정상운전중에 댐퍼(170) 및 격리밸브(180)의 제어를 통한 소듐 및 공기의 유량조절을 통해 소듐 고화방지를 위한 최소한의 열량만을 제열용 소듐-루프(30')로 공급함으로써 고온폴의 정상운전중 열손실을 최소화하고, 정상 열제거 시스템의 기능상실로 인한 비상 노심 붕괴열 제거시에는 댐퍼(170) 및 격리밸브(180)를 최대로 열어 유량을 증가시킴으로써 본격적인 설계 제열성능을 발휘하도록 설계되어 있다.

<38> 이와 같이 폴 직접 냉각방식(DRC)은 정상운전중의 열손실방지 및 소듐고화방지를 위한 최소목표열량 공급을 위해 제열용 소듐-루프(30')에 격리밸브(180)를 설치하고 공기유로의 입구(43') 및 출구(47')에 댐퍼(170)를 설치하여 이들의 개도(開度)를 조절하는 방식을 채택하고 있으며, 비상 노심 붕괴열 제거시의 작동 신뢰성 증진을 위해서 피동개념을 구현하고자 격리밸브(180) 및 댐퍼(170)를 안전등급화하는 설계개념이 주로 이용되고 있으나, 이 방식 역시 격리밸브(180) 또는 댐퍼(170) 자체에 대한 기계적인 구동조건이 만족되어야 하므로 완전한 피동개념에 따른 잔열제거기능 수행이 불가능하며 원자로용기 직접 냉각방식(PVCS)과 비교할 때 잔열제거시스템의 작동 신뢰성과 관련한 작동안전성 측면에서 바람직하지 못한 문제점이 있었다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

- <39> 이상과 같은 종래기술의 문제점을 해소하기 위하여 발명한 것으로서,
- <40> 본 발명의 목적은 대용량 액체금속로에 요구되는 충분한 노심붕괴열 제거용량을 확보하면서도, 완전 피동개념을 적용하여 운전원 또는 외부에서 입력되는 작동신호 없이도 효과적인 상시 비상 노심 붕괴열 제거가 가능하도록 작동 신뢰성을 향상시키며, 동시에 정상운전중의 열손실을 최소화할 수 있도록 하는 폴 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거방법 및 잔열제거시스템을 제공하는 것이다.

【발명의 구성 및 작용】

- <41> 이를 실현하기 위한 본 발명은,
- <42> 정상 열제거 시스템의 기능상실시 노심의 붕괴열을 제거하기 위한 액체금속로 잔열제거방법에 있어서,
- <43> 액체금속로의 원자로용기 내부공간이 노심측의 고온풀과 원자로용기 내벽측의 저온풀로 원자로배플을 사용하여 구분하여 정상운전시 1차계통펌프에 의해 액위차를 유지하도록 하고, 원자로 건물 상부에 설치되는 소뜸-공기 열교환기와 제열용 소뜸-루프로 연결되는 소뜸-소뜸 열교환기를 저온풀 내부의 정상운전시 액위보다 높은 위치에 설치하여, 정상 열제거 시스템의 기능상실시 1차계통펌프의 작동중단으로 인해 고온풀과 저온풀 간의 액위차가 소멸되고 계속되는 노심 붕괴열 발생에 의한 고온풀 소뜸의 부피 팽창으로 인해 고온풀의 소뜸이 저온풀로 넘

어 들어가는 고온풀과 저온풀 간의 자연순환 유동이 형성되면, 소뜸-소뜸 열교환기가 고온의 소뜸과 직접 접촉하도록 하여 노심의 붕괴열을 최종 열침원인 대기로 방출하는 것을 특징으로 하는 풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거방법을 제공한다.

<44> 그리고, 원자로용기 외주면을 외부에서 유입되는 공기에 의해 냉각시키는 원자로용기 직접 냉각방식을 동시에 수행하는 것을 특징으로 한다.

<45> 또한, 원자로배플 내측의 고온풀에 하단이 저온풀과 연통되어 내부의 액위가 저온풀과 동일하게 유지되고 상단이 정상운전시 고온풀의 액위보다 높은 곳에 위치하는 수직원형관을 설치하고, 수직원형관 내부의 정상운전시 저온풀 액위보다 높은 위치에 소뜸-소뜸 열교환기를 설치하여, 정상운전시 수직원형관 내측면과 소뜸-소뜸 열교환기 간의 복사 열전달에 의해 제열용 소뜸-루프 내부의 소뜸 고화를 방지하는 것을 특징으로 한다.

<46> 한편, 격리밸브가 제거된 상기 제열용 소뜸-루프와, 공기유로 입/출구에서 댐퍼를 제거한 상기 소뜸-공기 열교환기에 의해 완전 피동개념으로 노심의 붕괴열이 제거되도록 한 것을 특징으로 한다.

<47> 더불어, 정상운전시 열손실을 최소화하기 위하여 소뜸-소뜸 열교환기 및 수직원형관의 표면방사율을 조절하여 복사 열전달을 양적으로 조절함으로써 소뜸-루프 내부의 소뜸 고화방지를 위한 최소 열량만을 공급하도록 하는 것을 특징으로 하한다.

<48> 상기한 바와 같은 잔열제거방법에 더하여 본 발명은,

- <49> 내부공간이 원통형의 원자로배플에 의해 노심측의 고온풀과 그 외측의 저온풀로 구분되는 원자로용기와, 정상운전시 1차계통펌프에 의해 고온풀과 저온풀간의 액위차를 유지하는 액체금속로에 설치되어, 정상 열제거 시스템의 기능상 실시 노심의 붕괴열을 제거하는 액체금속로 잔열제거시스템에 있어서,
- <50> 정상운전시 복사에 의한 열전달만 가능하도록 상기 저온풀 내부의 정상운전시 액위보다 높은 위치에 설치되는 하나 이상의 소뜸-소뜸 열교환기;
- <51> 원자로 건물 상부에 설치되는 하나 이상의 소뜸-공기 열교환기; 및
- <52> 상기 소뜸-소뜸 열교환기와 상기 소뜸-공기 열교환기를 연결하는 제열용 소뜸-루프를 포함하는 것을 특징으로 하는 풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거시스템을 제공한다.
- <53> 그리고, 상기 원자로배플 내측의 고온풀 가장자리에 자체의 하단이 저온풀과 연통되어 내부의 액위가 저온풀과 동일하게 유지되고 자체의 상단이 고온풀의 액위보다 높은 곳에 위치하도록 설치되는 하나 이상의 수직원형관을 더 포함하고, 상기 수직원형관 내부의 정상운전시 저온풀 액위보다 높은 위치에 상기 소뜸-소뜸 열교환기가 설치되는 것을 특징으로 한다.
- <54> 또한, 공기유로의 입구 및 출구에 댐퍼가 제거된 상기 소뜸-공기 열교환기와, 격리밸브가 제거된 상기 제열용 소뜸-루프를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- <55> 한편, 상기 소뜸-소뜸 열교환기는 상단이 제열용 소뜸-루프의 저온관과 연결되어 중심부에 수직으로 연장되는 저온소뜸 하향관과, 저온소뜸 하향관의 외주면을 둘러싸도록 원주방향으로 등간격으로 배치되고 각각의 하단이 저온소뜸 하

향관의 하단과 연통되는 다수의 전열관으로 이루어지는 U형 전열부; 및 상기 U형 전열부 상부에 위치하여 상기 다수의 전열관과 연통되고 제열용 소듐-루프의 고온관과 연결되는 가열소듐 수집기를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<56> 더불어, 상기 소듐-소듐 열교환기는 상기 가열소듐 수집기의 하단이 소듐의 부피팽창으로 인해 상승한 계통과도시의 소듐 액위보다 높은 곳에 위치하도록 설치되는 것을 특징으로 한다.

<57> 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 더욱 상세하게 설명한다. 참고로, 본 발명에 따른 잔열제거방법 및 잔열제거시스템을 본 발명의 실시예에 따른 잔열제거시스템이 적용된 액체금속로를 통해 설명한다.

<58> 본 발명의 일 실시예에 따른 잔열제거시스템이 적용된 액체금속로는, 도 1 및 도 2에 도시한 바와 같이, 원자로용기(100)의 하부 중심에 노심(110)이 위치하고, 노심의 외주를 둘러싸는 가운데 노심 상부로 소정의 높이로 연장되는 원통형의 노심 지지용기(120: reactor support barrel)가 설치된다. 그리고, 노심 지지용기(120)의 외주면에 대하여 수직으로 연장되어 수평으로 배치되는 환형의 격리판(125)과, 격리판의 가장자리에서 수직상방으로 연장되어 원자로용기(100)의 내벽과 노심 지지용기(120) 사이에 배치되는 원통형의 원자로배플(130)이 설치되어, 노심(110) 및 격리판(125)의 상부이자 원자로배플(130) 내측에 위치하는 고온풀(150)과, 격리판(125) 하부 및 원자로배플(130)과 원자로용기(100) 내벽 사이에 위치하는 저온풀(200)로 원자로용기(100)의 내부공간이 구분된다. 여기서, 원자로배플(130)의 높이는 정상운전상태에서 고온풀(150)의 소듐 액위(X)보다 높

도록 하여 고온 소듐이 저온풀(200)로 넘어들어가는 것을 방지하며, 노심 지지용기(120)의 높이는 고온풀(150)의 소듐 액위(X)보다 낮도록 하여 고온풀 내에서 노심 지지용기(120)의 외주면측 공간에도 항상 고온의 소듐이 채워진 상태를 유지하도록 한다.

<59> 노심 지지용기(120)의 외주면과 원자로배플의 내주면 사이에는 정상 열제거 시스템의 구성요소인 다수의 중간열교환기(140: IHX)가 소정의 배열규칙에 따라 배치되며, 저온풀(200)의 액체 소듐을 원자로 노심을 거쳐 고온풀(150)로 양정하는 1차계통펌프(145)가 소정의 배열규칙에 따라 배열되도록 설치되어 정상운전중에 고온풀(150)과 저온풀(200) 사이에 항상 일정수준 이상의 액위차(Z)가 유지되도록 한다. 여기서, 중간열교환기(140: IHX)는 2개가 1조로 구성되고, 각 조별로 원자로 외부에 위치하는 증기발생기(steam generater: 도시 안됨)와 연결되어 정상운전시 원자로 노심에서 발생하는 열을 제거하게 된다. 또한, 중간열교환기(140)와 증기발생기를 연결하는 배관상에는 중간계통 격리밸브(190)가 설치되어 계통과도시와 같이 정상 열제거 시스템에 장애가 발생한 경우에 내부의 소듐 유동을 차단할 수 있도록 구성되어 있다.

<60> 그리고, 상기 원자로배플(130) 내측면과 인접한 고온풀(150) 가장자리에 위치하는 3개의 수직원형관(10)이 설치된다. 이 수직원형관(10)은 자체의 하단이 저온풀(200)과 연통되어 1차계통펌프(145)의 양정에 의해 내부의 액위(Y)가 저온풀(200)과 동일하게 유지되고 자체의 상단이 원자로배플(130)과 마찬가지로 정상운전시 고온풀(150) 소듐 액위(X)보다 높게 연장된다.

<61> 좀 더 상세히 설명하면, 도 2에 도시한 바와 같이, 수직원형관(10)은 원자로배플(130)의 내벽과 지지용기(120)의 외벽사이에 중간열교환기(140) 및 1차계통펌프(145)와 중복되지 않도록 등간격으로 설치되며, 각각의 하단은 격리판(125)을 관통하여 저온풀(200)과 연통되고 상단은 원자로배플(130)과 동일한 정도의 높이로 연장되어 고온풀(150)과 구분된 저온풀(200)의 일부분이 되어, 내부의 액위(Y)가 저온풀(200)과 함께 1차계통펌프(145)에 의해 낮은 액위(Y)를 유지하게 되고, 외주면은 고온풀(150)의 소뜸과 접촉상태에 놓이게 된다. 이때 고온풀(150) 및 수직원형관(10)을 포함한 저온풀(200) 내부의 빈공간에는 헬륨, 질소, 아르곤 등과 같은 비활성기체가 충전된다. 충전된 비활성기체는 압력과도 시 압력변동을 흡수하여 시스템 전체의 급격한 압력과도를 방지하는 열할을 수행함과 더불어, 고온풀(150)로부터 원자로헤드(160)로의 전열량을 감소시키는 열차폐 역할을 동시에 수행한다.

<62> 도 3에 도시한 바와 같이, 각 수직원형관(10) 내부의 정상운전시 저온풀 액위(Y)보다 높은 위치에 소뜸-소뜸 열교환기(20)가 소뜸과의 직접 접촉이 차단된 상태로 설치되고, 이때 소뜸-소뜸 열교환기(20)는 소뜸과의 직접적인 접촉이 차단됨에 따라 수직원형관(10)의 내주면과 복사에 의한 열전달만 가능한 상태에 놓이게 된다.

<63> 소뜸-소뜸 열교환기(20)는 각각 원자로헤드(160)를 관통하여 원자로 상부로 연장되는 제열용 소뜸-루프(30)에 의해 원자로 건물 상부에 설치되는 소뜸-공기 열교환기(40)와 연결되어, 원자로 내부에서 흡수한 열을 소뜸-공기 열교환기(40)에서 대기로 방출하게 된다.

<64> 즉, 소듐-공기 열교환기(40) 내부에서는 제열용 소듐-루프(30)에 의해 전달된 고온플(150)의 열을 소듐-공기 열교환기(40) 하부의 입구(43)로부터 유입되어 열교환 후 소듐-공기 열교환기(40) 상부의 출구(47)로 배출되는 외부공기를 이용한 직접적인 열제거가 이루어진다.

<65> 이상과 같은 본 발명에 따른 액체금속로 잔열제거시스템은, 도 10에 도시한 바와 같이, 종래기술에서 정상운전시 열손실을 최소화하고, 액체 소듐의 특성을 감안한 제열용 소듐-루프(30)에서의 소듐고화방지에 소요되는 최소한의 열량만을 공급하기 위해 사용되었던 소듐-공기 열교환기(40')의 공기유로 입구(43') 및 출구(47')에 댐퍼(170)를 필요로 하지 않고, 또한 제열용 소듐-루프(30')의 격리밸브(180)를 필요로 하지 않는 완전 피동개념으로 작동하게 된다.

<66> 좀 더 상세히 설명하면, 본 발명에 따른 잔열제거시스템은 정상운전시 기계적인 구동수단을 포함한 복잡한 구성요소에 의해 실현되는 댐퍼(170)를 통한 공기의 유량제어 및 격리밸브(180)를 통한 소듐의 유량제어를 통해 잔열제거계통으로 제거되는 열량을 조절하는 것이 아니라, 수직원형관(10)과 소듐-소듐 열교환기(20) 사이의 복사 열전달을 전열표면의 최적 표면방사율(surface emissivity) 설정을 통해 양적으로 조절함으로써 소듐의 고화방지를 위한 최소한의 열량만을 공급할 수 있게 된다.

<67> 본 발명에 따른 잔열제거시스템은 효과적인 잔열제거 및 소듐고화방지를 위한 최소한의 열공급을 위해, 도 5 및 도 6에 도시한 바와 같이, 소듐-소듐 열교환기(20)는 자연순환에 의한 소듐과 소듐 간의 열교환에 적합한 U형 전열부(25)

를 구비하여 정상운전시 및 계통과도시에 보다 효율적인 제열성능을 갖도록 한다.

<68> 여기서, U형 전열부(25)란 소듐-소듐 열교환기(20)의 내부 중심에 상단이 제열용 소듐 루프(30)의 저온관(33)과 연결되고 수직으로 연장되는 저온소듐 하향관(23: cold sodium downcomer)과, 저온소듐 하향관(23)의 외주면을 둘러싸는 가운데 반경방향 등간격의 동심원상에 원주방향으로 등간격으로 배치되는 다수의 전열관(27)으로 이루어지는 것으로서, 저온소듐 하향관(23)을 통해 하강한 저온소듐이 전열관(27)으로 상승하는 과정에서 외부의 열을 효과적으로 흡수할 수 있도록 한다.

<69> 또한, 소듐-소듐 열교환기(20) 상부에 가열소듐 수집기(29: heated sodium collector)가 구비되어, 전열관(27)을 거치는 과정에서 고온 소듐으로부터 열을 흡수한 내부의 소듐이 가열소듐 수집기(29)에서 합류하도록 하고, 계속해서 밀도차에 의해 발생하는 제열용 소듐-루프(30) 내부의 자연순환에 의해서 제열용 소듐-루프(30)의 고온관(37)을 통해 원자로 건물 상부에 위치한 소듐-공기 열교환기(40)로 공급될 수 있도록 한다.

<70> 또한, 정상운전중의 복사 열전달에 의한 제열용 소듐-루프(30) 내부로의 열전달을 원활히 수행할 수 있도록 소듐-소듐 열교환기(20)의 전열관(27)은 원주방향으로 균일하게 배치하며, 고온 소듐과의 직접 접촉으로 인한 구조적 문제점 발생을 원천적으로 차단하고 고온의 소듐이 수직원형관(10)으로 넘어들어오는 경우에도 유동간섭 최소화를 위해서 소듐-소듐 열교환기(20) 상부에 위치한 가열소듐

수집기(29: Heated sodium collector)의 하단이 소듐의 부피팽창으로 인해 상승한 계통과도시 소듐 액위(X')보다 높은 위치에 위치하도록 배치한다.

<71> 그리고, 표면의 거칠기(roughness)나 산화정도에 변화를 가하는 다양한 종류의 표면처리를 통해, 소듐-소듐 열교환기(20)의 전열관(27) 및 수직원형관(10)의 표면방사율(surface emissivity)을 조절하여 제열용 소듐-루프(30) 내부 소듐의 고화방지를 위한 최소 열량만을 공급하도록 함으로써 정상운전중의 열손실 최소화가 가능하게 된다.

<72> 본 발명에 따른 잔열제거시스템의 작동을 설명하면 다음과 같다.

<73> 정상운전중에는, 도 3에 도시한 바와 같이, 1차계통펌프(145)의 양정에 의해 발생하는 액위차(Z)에 의해 수직원형관(10)의 상부에 소듐이 채워지지 않으므로 수직원형관(10)의 내주면과 소듐-소듐 열교환기(20)의 전열관(27) 표면간의 복사 열전달에 의해서만 고온풀(150)의 열이 흡수되어 제열용 소듐-루프(30)로 열량이 공급된다. 이때 공급되는 열량은 제열용 소듐-루프(30) 내부에서의 소듐 고화방지를 위해서 사용되며, 정상운전중인 전체 액체금속로의 관점에서는 열손실에 해당하므로 소듐고화방지 목적으로 상기한 바와 같이 소듐-소듐 열교환기(20)의 전열관(27)과 수직원형관(10)의 표면방사율 조절을 통해 적절한 열량의 손실이 발생하도록 유도하게 된다.

<74> 중간열교환기(140: IHX)를 통한 정상 열제거 시스템의 기능이 상실된 계통과도시에는, 도 4에 도시한 바와 같이, 정상 열제거 시스템의 기능상실로 인해 1

차계통펌프(145)의 기능이 상실되어 고온풀(150)과 저온풀(200) 간의 액위차(Z)가 사라지면서 저온풀(200)의 액위(Y)가 상승하고, 노심(110)의 붕괴열에 의해 고온풀(150) 내부의 소듬이 팽창함으로써 고온풀(150)의 소듬 액위(X)가 원자로배플(130) 및 수직원형관(10)의 높이 이상(X')으로 상승하여 원자로용기(100)와 원자로배플(130) 사이의 환형공간 및 소듬-소듬 열교환기(20)가 설치된 수직원형관(10) 내부로 고온의 소듬이 넘어들어가게 된다. 이때, 수직원형관(10) 내부의 소듬-소듬 열교환기(20)가 고온의 소듬과 직접 접촉하게 됨으로써 고온의 소듬은 소듬-소듬 열교환기(20)를 통해 제열용 소듬-루프(30)로 열을 빼앗기게 되고, 이로 인해 수직원형관(10) 내부의 소듬 밀도가 증가하여 수직원형관(10) 외부의 소듬 밀도보다 커짐으로써 밀도차에 의해 자연스럽게 고온풀(150)에서 저온풀(200)로의 소듬 자연순환유동이 발생하게 된다. 수직원형관(10) 내부와 소듬-소듬 열교환기(20)의 전열관(27) 표면 사이의 환형공간을 통해 고온의 소듬 유동이 형성됨에 따라, 정상운전중에 복사 열전달로만 이루어지던 고온풀(150)과 소듬-소듬 열교환기(20)사이의 열교환 메커니즘이 수직원형관(10) 내부에서 고온의 소듬유동에 의한 대류 열전달에 의한 열교환 메커니즘으로 전환되면서 고온풀(150)에서 소듬-소듬 열교환기(20)로의 급격한 열제거가 발생하게 된다.

<75> 이상과 같은 정상운전시 및 계통과도시의 소듬-소듬 열교환기(20) 작동에 관하여 좀 더 상세히 설명하면, 도 5에 도시한 바와 같이, 정상운전시 소듬-공기 열교환기(40)에서 냉각된 제열용 소듬-루프(30) 내부의 소듬은 소듬-소듬 열교환기(20) 상부 중앙으로 유입되어 저온소듬 하향관(23)을 통해 하강한 후, 그 유동방향이 저온소듬 하향관(23) 하단에서 180°선회하여 다시 전열관(27)을 통해

상승하는 과정에서 수직원형관(10)의 내표면과 소뜸-소뜸 열교환기(20)의 전열관 사이의 복사 열전달에 의한 복사 열전달 메커니즘을 통해 제열용 소뜸-루프 내부에서의 소뜸고화를 방지하기 위한 열을 흡수하게 되고, 밀도차에 의해 상승이 지속되어 상부의 가열소뜸 수집기(29)로 수집된 후 제열용 소뜸-루프(30)의 고온관(37)을 통해 다시 소뜸-공기 열교환기(40)로 유입되며, 공기유로의 입구(43)를 통해 소뜸-공기 열교환기(40)로 유입되는 외부공기와의 열교환에 의한 냉각과정을 거친 후 다시 제열용 소뜸-루프(30)의 저온관(33)을 통해 소뜸-소뜸 열교환기(20)로 공급된다.

<76> 그리고, 도 6에 도시한 바와 같이, 계통과도시 소뜸-공기 열교환기(40)에서 냉각된 제열용 소뜸-루프(30) 내부의 소뜸은 소뜸-소뜸 열교환기(20) 상부 중앙으로 유입되어 저온소뜸 하향관(23)을 통해 하강한 후, 그 유동방향이 저온소뜸 하향관(23) 하단에서 180°선회하여 다시 전열관(27)을 통해 상승하는 과정에서 수직원형관(10) 내부로 유입된 고온 소뜸과 소뜸-소뜸 열교환기(20) 외표면 간의 직접 접촉 및 고온풀에서 저온풀로 이어지는 소뜸의 자연순환 유동에 의한 대류 열전달 메커니즘을 통해 급격하게 열을 흡수하게 되고, 지속되는 상승으로 상부의 가열소뜸 수집기(29)로 수집된 후 제열용 소뜸-루프(30)의 고온관(37)을 통해 다시 소뜸-공기 열교환기(40)로 유입되어 공기유로의 입구(43)를 통해 소뜸-공기 열교환기(40)로 유입되는 외부공기와의 열교환에 의한 냉각과정을 거치게 된다.

<77> 다시 말해, 제열용 소뜸의 순환은 밀도차에 의한 자연순환에 의해 지속적으로 발생하게 되는 것으로서, 이 과정에서 운전원 또는 능동형 구동장치와 같은

외부적 요소의 어떠한 개입 없이도 노심의 붕괴열을 지속적으로 최종 열침원인 대기로 방출하게 되는 것이다.

<78> 본 발명에 따른 잔열제거시스템은 종래기술에 따른 원자로용기 직접냉각방식(PVCS)에 의한 잔열제거를 동시에 수행할 수 있음에 따라 대용량의 액체금속로에 적용할 때 더욱 유리한 설계변동폭을 갖게 된다.

<79> 본 발명에 따른 잔열제거시스템을 구비한 액체금속로는, 도 7에 도시한 바와 같이, 정상운전시 1차계통펌프(145)의 양정에 의해 형성된 고온풀(150)과 저온풀(200) 간의 액위차(Z)로 인해 저온풀(150)에 해당하는 소듐-소듐 열교환기(20)가 설치된 수직원형관(10) 내부 및 원자로배플(130)과 원자로용기(100) 사이의 환형공간의 액위(Y)가 낮게 유지되어, 소듐-소듐 열교환기(20)가 소듐과 직접 접촉하지 않고 고온풀(150) 및 저온풀(200) 상부에 채워진 cover gas에 둘러싸인 상태로 위치하게 된다. 따라서, 원자로용기(100)와 원자로배플(130) 사이에 cover gas로 채워진 환형공간은 원자로용기 직접 냉각방식(PVCS)의 측면에서 열차폐 역할을 수행하게 되어 원자로용기(100) 외주면으로부터의 복사 열전달에 의한 최소한의 열손실만이 발생하게 되며, 소듐-소듐 열교환기(20)를 통한 열제거 역시 수직원형관(10) 내주면과 소듐-소듐 열교환기(20)의 전열관(27) 사이의 복사 열전달을 통해서만 제열용 소듐-루프(30)로 열이 유입되므로 소듐의 직접 접촉에 의한 열교환보다 열전달이 감소하여 정상운전중의 열손실을 최소화 할 수 있게 된다.

<80> 그리고, 본 발명에 따른 잔열제거시스템을 구비한 액체금속로는, 도 8에 도

시한 바와 같이, 정상 열제거 시스템의 기능상실시 1차계통펌프(145) 작동중단으로 인해 고온풀(150)과 저온풀(200) 간의 액위차(Z)가 사라지면서 저온풀(200) 소듐 액위(Y)가 상승하게 되고, 계속적인 노심 붕괴열 발생에 의해 고온풀(150)의 소듐이 팽창하여 원자로배플(130) 및 소듐-소듐 열교환기(20)가 설치된 수직 원형관(10) 상부를 통해 고온의 소듐이 넘어들어옴으로써, 원자로용기(100)의 내주면이 고온의 소듐과 직접 접촉함에 따른 원자로용기 직접냉각방식(PVCS)에 의한 열제거 및 수직원형관(10) 내부의 소듐-소듐 열교환기(20)가 고온의 소듐과 직접 접촉함에 따른 풀 직접 냉각방식(DRC)에 의한 열제거가 동시에 수행되어 비상시 노심의 붕괴열을 효과적으로 최종 열침원인 대기로 제거하게 된다.

<81> 즉, 단일방식이 아닌 복수의 열제거경로를 갖게 됨에 따라 추가적인 제열용량을 확보함과 더불어, 본 발명에 따른 풀 직접 냉각방식은 원자로 직접냉각방식과 마찬가지로 완전한 피동개념으로 작동하도록 구현함으로써 고출력의 대용량 액체금속로를 설계하는데 있어 한층 여유있는 설계변동폭을 갖도록 하는 것이다.

【발명의 효과】

<82> 이상과 같은 본 발명에 따른 풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거방법 및 잔열제거시스템을 제공함으로써, 종래기술의 풀 직접 냉각방식에서 제열용 소듐-루프에 설치되었던 격리밸브 및 소듐-공기 열교환기의 공기유로 입구 및 출구에 설치되었던 댐퍼를 구비하지 않음에 따라, 구동을 위해 사용되는 기기의 오작동으로 인한 작동상의 문제점 없이 완전 피동개념에 따른 효과적인 잔열제거수행이 가능하며, 더불어 정상운전시 소듐고화방지를 위한 최소한의

열량만이 이루어지도록 함으로써 잔열제거시스템을 통한 열손실을 최소화하여 경제성을 향상시킬 수 있는 효과를 갖는다. 즉, 중소형 액체금속로에 적용되어 온 원자로용기 직접 냉각방식(PVCS)과 같이 운전원의 개입 또는 외부의 어떠한 구동 제어신호 없이도 비상시 노심붕괴열 제거가 가능한 높은 작동 신뢰성을 확보하는 대용량 원자로 설계가 가능하게 되는 것이다.

<83> 또한, 완전피동개념으로 작동하는 풀 직접 냉각방식의 잔열제거 및 원자로 용기 직접 냉각방식(PVCS)의 잔열제거를 동시에 사용하는 것이 가능하며, 추가적인 제열용량확보에 따라 대용량 액체금속로의 설계가 용이하게 되며, 복수의 잔열제거경로를 구비함에 따라 작동 신뢰성 측면에서 극대화된 안전성을 확보할 수 있게 되는 것이다.

<84> 정리하면, 본 발명은 완전피동개념에 따른 작동을 통해 작동 신뢰성을 확보하고, 정상운전시 잔열제거시스템을 통한 열손실을 최소화하여 경제성을 극대화시키며, 계통과도시에 효과적인 제열성능을 발휘할 뿐만아니라, 원자로용기 직접 냉각방식에 의한 추가적인 제열용량을 확보하여 대용량 액체금속로를 설계하는데 있어 현저히 증가한 설계변동폭을 제공하는 것이다.

<85> 이상에서 본 발명은 특정의 실시예와 관련하여 도시 및 설명하였지만, 첨부된 특허청구범위에 의해 나타난 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 한도내에서 다양한 변경, 개조 및 변화가 가능하다는 것을 당업계에서 통상의 지식을 가진자라면 누구나 쉽게 알 수 있을 것이다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

정상 열제거 시스템의 기능상실시 노심의 붕괴열을 제거하기 위한 액체금속로 잔열제거방법에 있어서,

액체금속로의 원자로용기 내부공간이 노심측의 고온풀과 원자로용기 내벽측의 저온풀로 원자로배플을 사용하여 구분하여 정상운전시 1차계통펌프에 의해 액위차를 유지하도록 하고, 원자로 건물 상부에 설치되는 소듐-공기 열교환기와 제열용 소듐-루프로 연결되는 소듐-소듐 열교환기를 저온풀 내부의 정상운전시 저온풀 액위보다 높은 위치에 설치하여, 정상 열제거 시스템의 기능상실시 1차계통펌프의 작동중단으로 인해 고온풀과 저온풀 간의 액위차가 소멸되고 계속되는 노심 붕괴열 발생에 의한 고온풀 소듐의 부피 팽창으로 인해 고온풀의 소듐이 저온풀로 넘어 들어가는 고온풀과 저온풀 간의 자연순환 유동이 형성되면, 소듐-소듐 열교환기가 고온의 소듐과 직접 접촉하도록 하여 노심의 붕괴열을 최종 열침원인 대기로 방출하는 것을 특징으로 하는 풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거방법.

【청구항 2】

제 1항에 있어서,

원자로용기 외주면을 외부에서 유입되는 공기에 의해 냉각시키는 원자로용기 직접 냉각방식을 동시에 수행하는 것을 특징으로 하는 풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거방법.

【청구항 3】

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

원자로배플 내측의 고온풀에 하단이 저온풀과 연통되어 내부의 액위가 저온풀과 동일하게 유지되고 상단이 정상운전시 고온풀의 액위보다 높은 곳에 위치하는 수직원형관을 설치하고, 수직원형관 내부의 정상운전시 저온풀 액위보다 높은 위치에 소뜸-소뜸 열교환기를 설치하여, 정상운전시 수직원형관 내측면과 소뜸-소뜸 열교환기 간의 복사 열전달에 의해 제열용 소뜸-루프 내부의 소뜸고화를 방지하는 것을 특징으로 하는 풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거방법.

【청구항 4】

제 3항에 있어서,

격리밸브가 제거된 상기 제열용 소뜸-루프와, 공기유로 입/출구에서 댐퍼를 제거한 상기 소뜸-공기 열교환기에 의해 완전 피동개념으로 노심의 붕괴열이 제거되도록 한 것을 특징으로 하는 풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거방법.

【청구항 5】

제 3항에 있어서,

정상운전시 열손실을 최소화하기 위하여 소뜸-소뜸 열교환기 및 수직원형관의 표면방사율을 조절하여 복사 열전달을 양적으로 조절함으로써 소뜸-루프 내부의 소뜸 고화방지를 위한 최소 열량만을 공급하도록 하는 것을 특징으로 하는 풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거방법.

【청구항 6】

내부공간이 원통형의 원자로배플에 의해 노심측의 고온풀과 그 외측의 저온풀로 구분되는 원자로용기와, 정상운전시 1차계통펌프에 의해 고온풀과 저온풀간의 액위차를 유지하는 액체금속로에 설치되어, 정상 열제거 시스템의 기능상 실시 노심의 붕괴열을 제거하는 액체금속로 잔열제거시스템에 있어서,

정상운전시 복사에 의한 열전달만 가능하도록 상기 저온풀 내부의 정상운전시 저온풀 액위보다 높은 위치에 설치되는 하나 이상의 소뜸-소뜸 열교환기;

원자로 건물 상부에 설치되는 하나 이상의 소뜸-공기 열교환기; 및

상기 소뜸-소뜸 열교환기와 상기 소뜸-공기 열교환기를 연결하는 제열용 소뜸-루프를 포함하는 것을 특징으로 하는 풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거시스템.

【청구항 7】

제 6항에 있어서,

상기 원자로배플 내측의 고온풀 가장자리에 자체의 하단이 저온풀과 연통되어 내부의 액위가 저온풀과 동일하게 유지되고 자체의 상단이 고온풀의 액위보다 높은 곳에 위치하도록 설치되는 하나 이상의 수직원형관을 더 포함하고, 상기 수직원형관 내부의 정상운전시 저온풀 액위보다 높은 위치에 상기 소듐-소듐 열교환기가 설치되는 것을 특징으로 하는 풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체 금속로 잔열제거시스템.

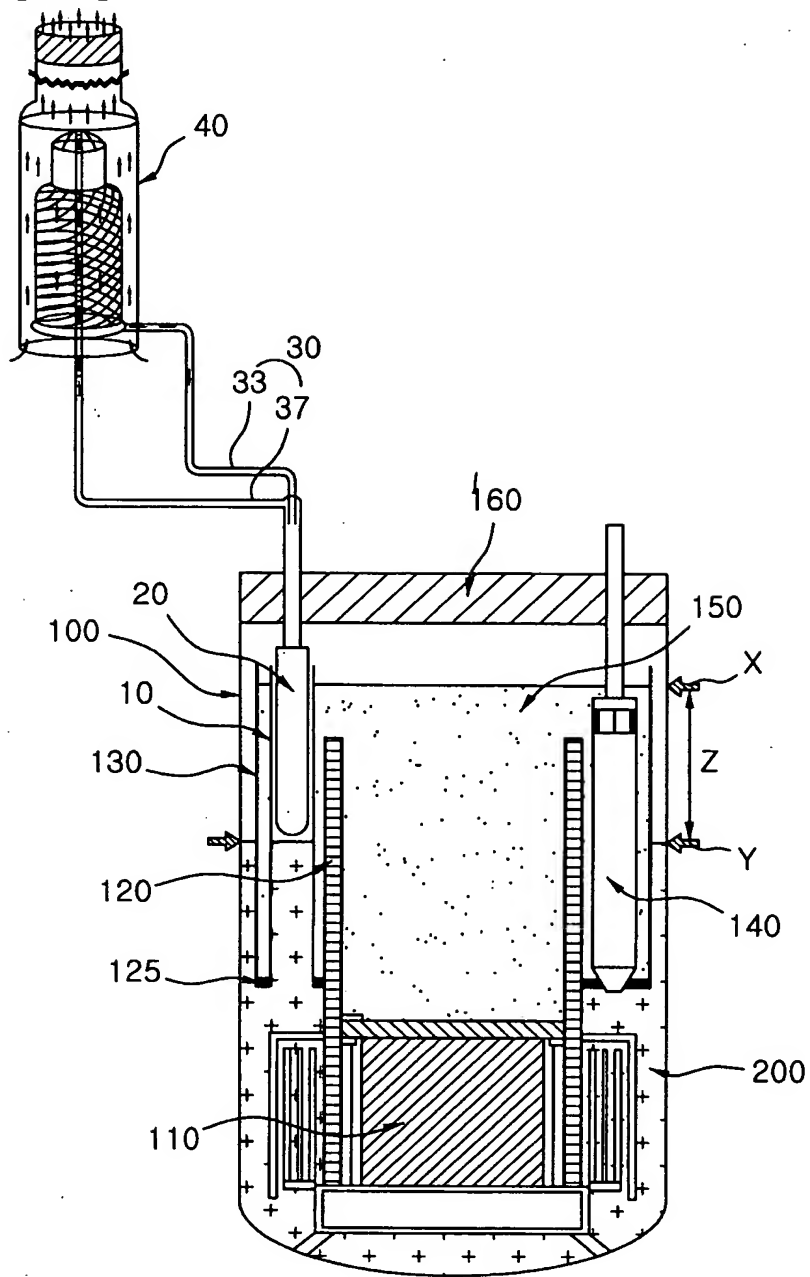
【청구항 8】

제 6항 또는 제 7항에 있어서,

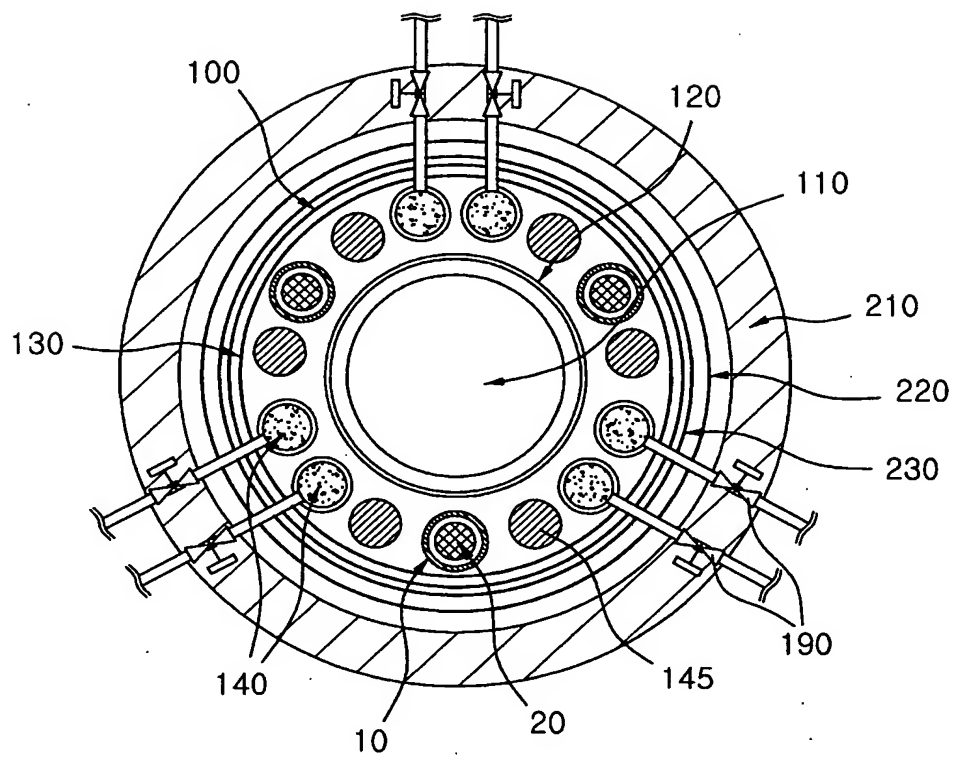
공기유로의 입구 및 출구에 댐퍼가 제거된 상기 소듐-공기 열교환기와, 격리밸브가 제거된 상기 제열용 소듐-루프를 포함하는 것을 특징으로 하는 풀 직접 냉각방식의 피동 안전등급 액체금속로 잔열제거시스템.

【도면】

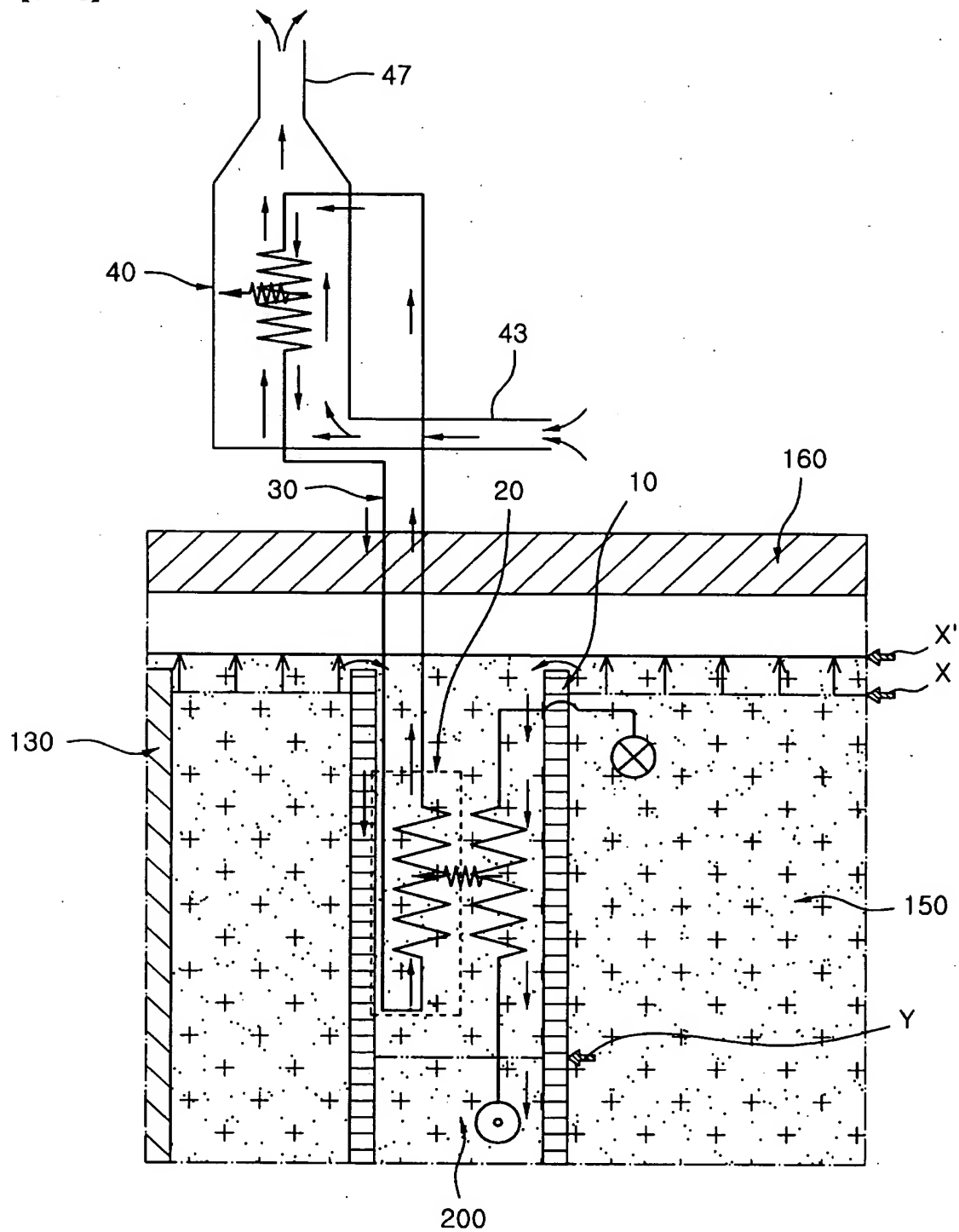
【도 1】



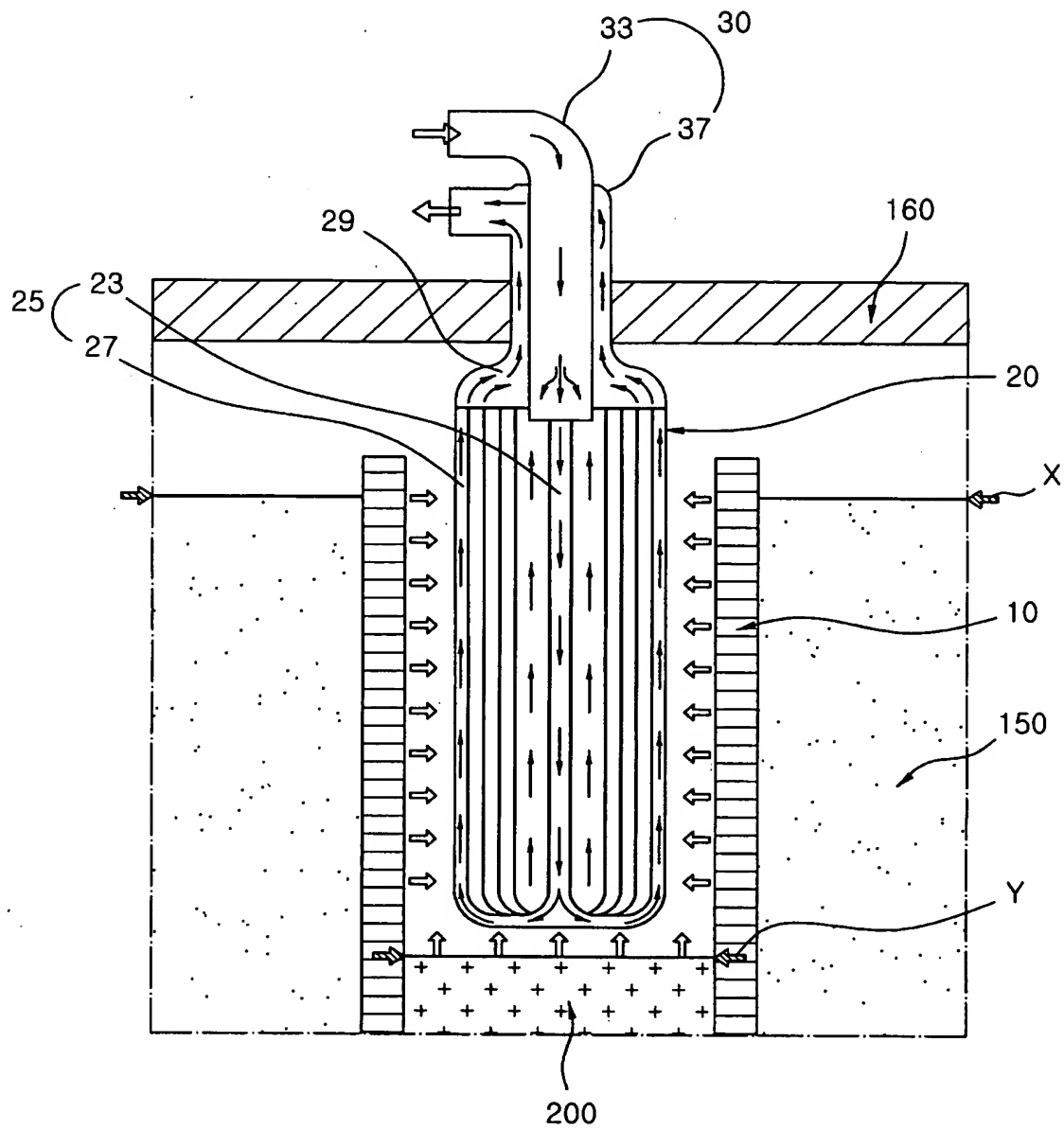
【도 2】



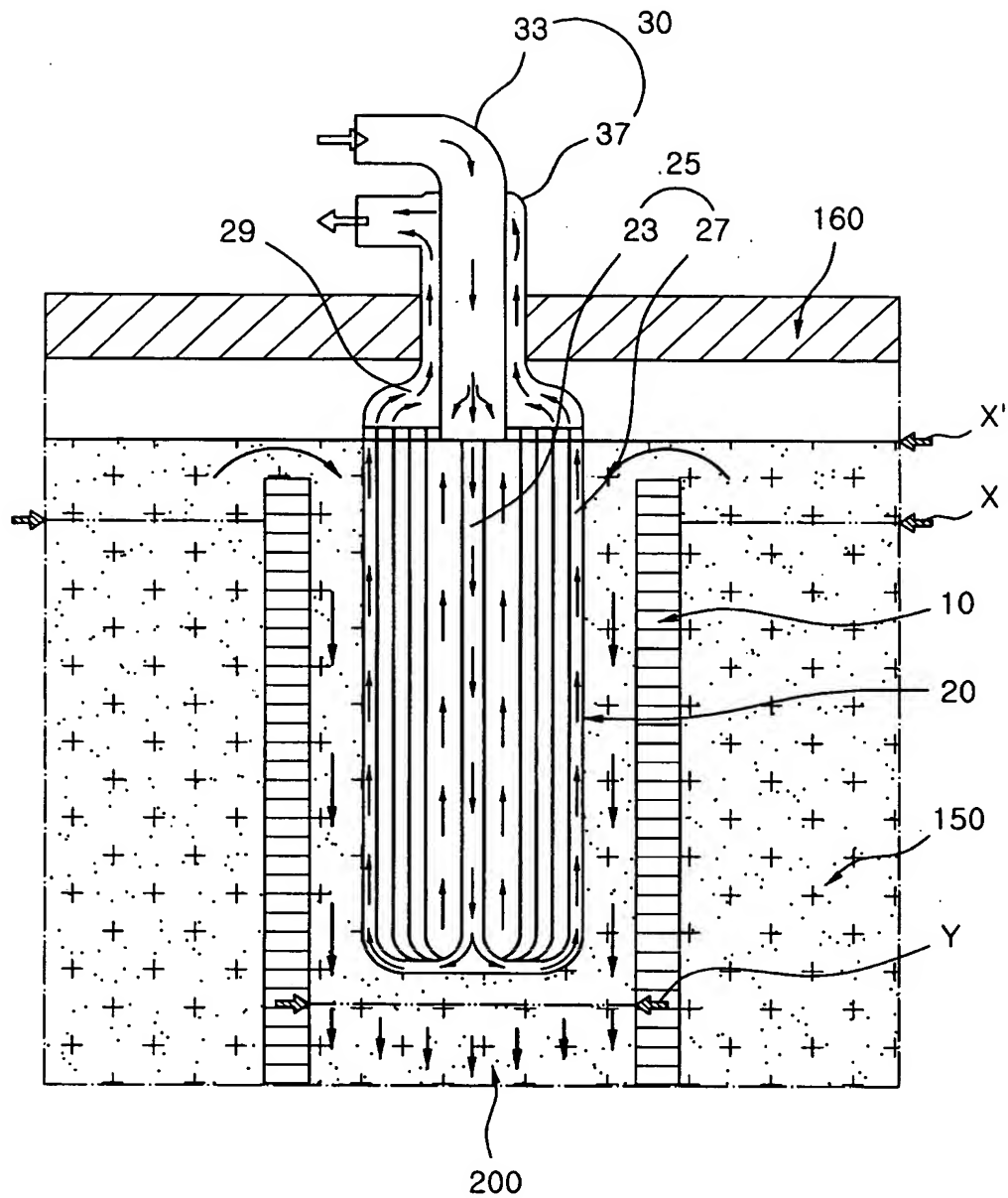
【도 4】



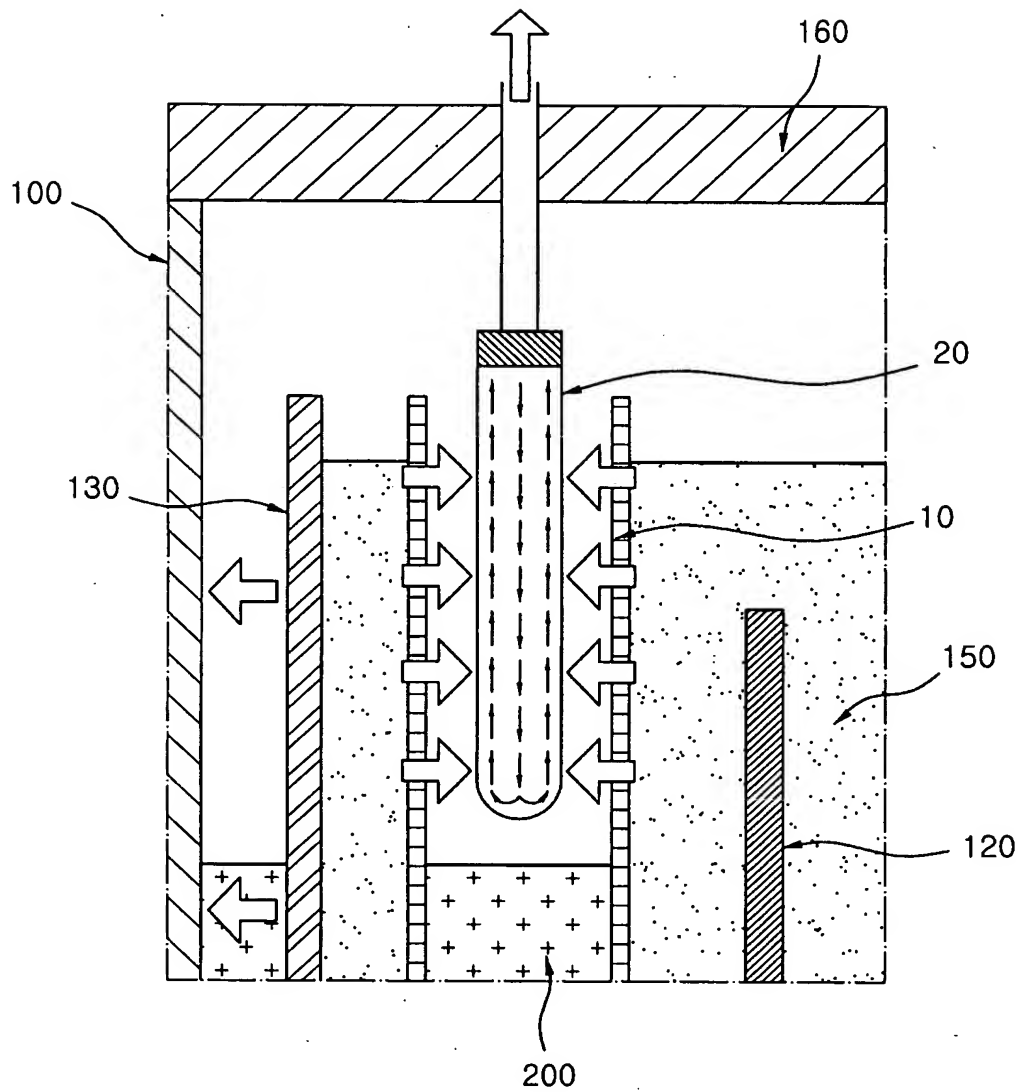
【도 5】



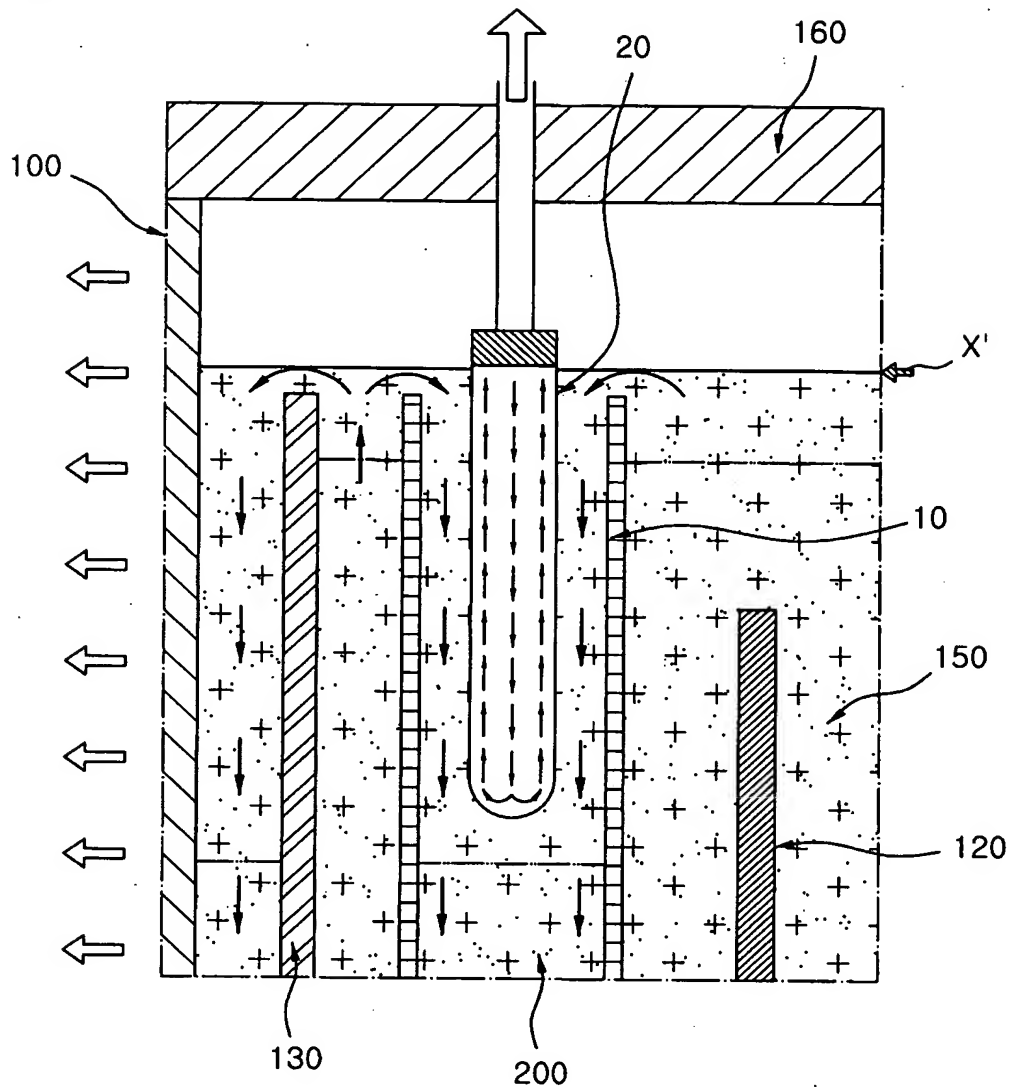
【도 6】



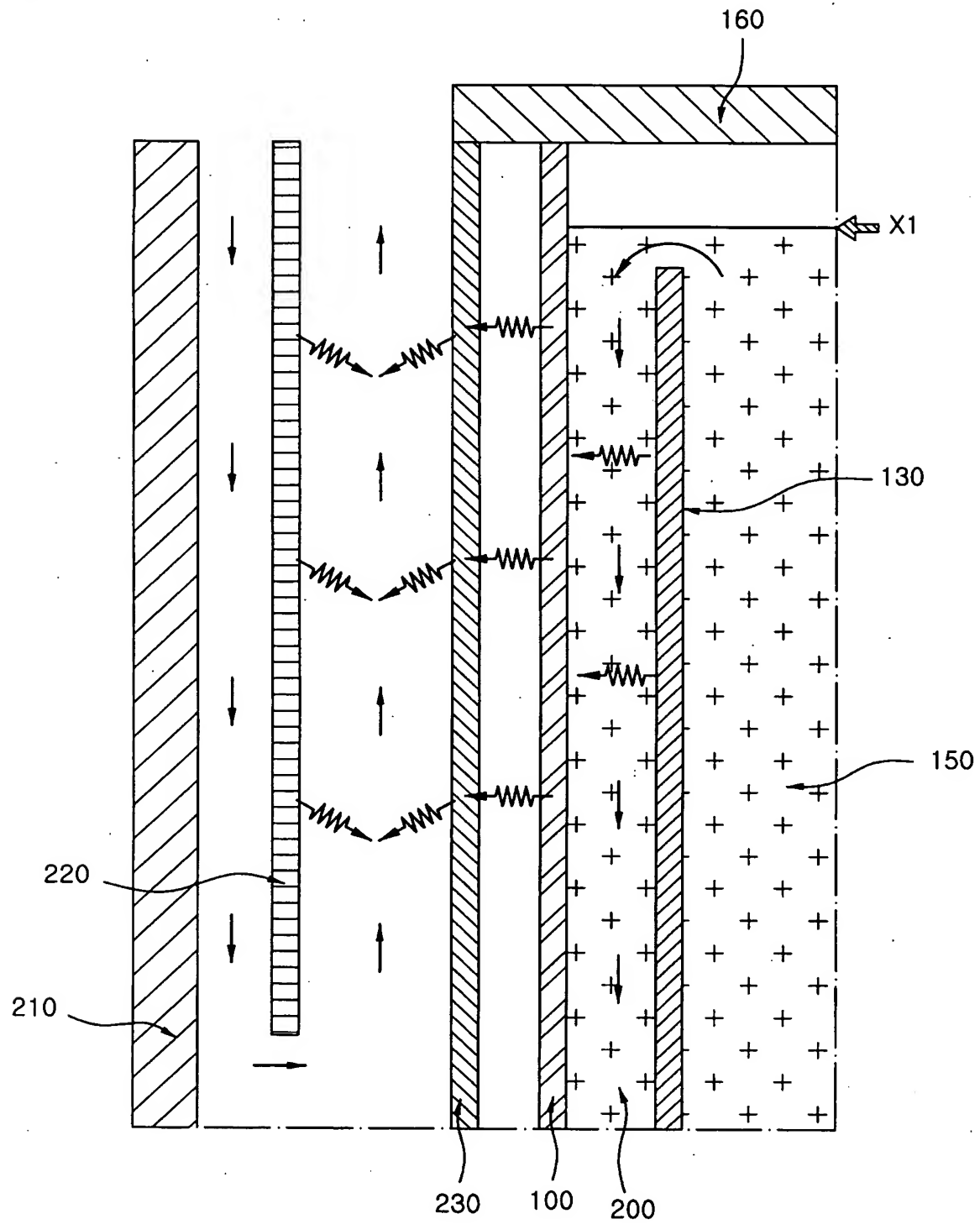
【도 7】



【도 8】



【도 9】





【도 10】

